

**PCT**WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> : <b>G05B 17/02</b>		<b>A1</b>	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 00/65414</b>
			(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 2. November 2000 (02.11.00)
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/01036</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 4. April 2000 (04.04.00)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 199 19 105.0 27. April 1999 (27.04.99) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): STÖHR, Annelie [DE/DE]; Schönstr. 27A, D-81543 München (DE).</p> <p>(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE- SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).</p>		<p>(81) Bestimmungsstaaten: US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p><b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i></p>	
<p>(54) Title: METHOD AND ARRANGEMENT FOR DESIGNING A TECHNICAL SYSTEM</p> <p>(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUM ENTWURF EINES TECHNISCHEN SYSTEMS</p> <p>(57) Abstract</p> <p>The invention relates to a method for designing a technical system. According to said method, a model of said system is produced in a descriptive format. An interference is modelled using a random variable. The system, including the interference, is modelled in the form of a stochastic differential equation. This stochastic differential equation is solved numerically and the solution obtained is used to design the technical system.</p> <p>(57) Zusammenfassung</p> <p>Es wird ein Verfahren zum Entwurf eines technischen Systems angegeben, bei dem das System in Form einer Beschreibungsform modelliert ist. Eine Störung wird anhand einer Zufallsgröße modelliert. Das System einschließlich der Störung wird als stochastische Differentialgleichung modelliert. Die stochastische Differentialgleichung wird numerisch gelöst und die ermittelte Lösung zum Entwurf des technischen Systems eingesetzt.</p>			

# **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauritanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland		
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

Beschreibung**Verfahren und Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems**

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems.

Für den Entwurf eines komplexen technischen Systems ist es notwendig, unter einer Menge zulässiger Arbeitspunkte (Betriebspunkte, Auslegungsparameter) mindestens einen Arbeitspunkt zu bestimmen, der einen effektiven Ablauf des Systems ermöglicht. Dabei sind oftmals Nebenbedingungen zu berücksichtigen, die die Menge der Arbeitspunkte einschränken und dementsprechend bei der Suche nach dem Arbeitspunkt mit-  
15 zuberücksichtigen sind.

In der Praxis wird das technische System häufig anhand der Erfahrung und des Wissens eines (oder mehrerer) Experten entworfen. Dabei ist es von Nachteil, daß bei Überschreitung einer gewissen Komplexität für das technische System die Fehlerwahrscheinlichkeit beim manuellen Entwurf ansteigt.  
20

Aus [1] sind Brownsche Bewegungen auf Mannigfaltigkeiten und insbesondere deren Darstellung mit Hilfe von Projektionsoperatoren und Stratonovich-Integralen bekannt.  
25

Das Konzept einer Stratonovich-Gleichung (auch: "Fisk-Stratonovich-Gleichung") ist aus [3] bekannt. Dabei bezeichnet die Stratonovich-Gleichung einen Typ stochastischer Differentialgleichungen mit speziellen (siehe [3]) Eigenschaften.  
30

Nun unterliegt gerade besagter Entwurf oftmals einem physikalischen Einfluß, der als Störung identifizierbar ist. Diese Störung wirkt sich u.U. signifikant auf den Entwurf aus, so daß auf der Suche nach einer akzeptablen Lösung für den Entwurf die Störung nicht unberücksichtigt bleiben kann.  
35

Die **Aufgabe** der Erfindung besteht darin, einen Entwurf eines technischen Systems zu ermöglichen, das einer Störung unterliegt.

5

Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich auch aus den abhängigen Ansprüchen.

- 10 Zur Lösung der Aufgabe wird ein Verfahren zum Entwurf eines technischen Systems angegeben, bei dem das System in Form einer Beschreibungsform modelliert ist. Eine Störung wird anhand einer Zufallsgröße modelliert. Das System einschließlich der Störung wird als stochastische Differentialgleichung mo-
- 15 delliert. Die stochastische Differentialgleichung wird numerisch gelöst und die ermittelte Lösung zum Entwurf des technischen Systems eingesetzt.

- Eine Weiterbildung besteht darin, daß die Beschreibungsform
- 20 eine Differentialgleichung ist.

- Eine Umsetzung des Ergebnisses aus Modellierung bzw. Simulation erfolgt vorzugsweise, indem anhand der Lösung der stochastischen Differentialgleichung mindestens ein akzeptabler,
- 25 wenn möglich sogar ein effizienter Arbeitspunkt des technischen Systems ermittelt wird. Als effizienter Arbeitspunkt wird dabei ein zulässiger Arbeitspunkt des Systems bezeichnet, der insoweit optimal ist, als eine Veränderung dieses Punktes keine Verbesserung des Systems mehr ermöglicht. Hierbei sei darauf hingewiesen, daß der Arbeitspunkt mehrerer Pa-
- 30 rameter umfassen kann, deren jeder eine einstellbare Größe sein kann.

- Ein Vorteil besteht darin, daß durch die stochastische Differentialgleichung die Störung modellierbar wird und damit im
- 35 Entwurf des technischen Systems mitberücksichtigt werden kann. Gerade bei realen technischen Systemen, bspw. in der

Schaltkreissimulation, spielen reale Störungen eine bedeutende Rolle: So kann sich aufgrund der Störung das Verhalten einer Schaltung grundlegend verändern bzw. die Schaltung u.U. sogar nicht mehr funktionieren. Durch eine explizite Berücksichtigung der Störung ist es möglich, einen für die Störung  
5 angepaßten Entwurf des technischen Systems vorzunehmen.

Insbesondere ist es eine Ausgestaltung, daß die stochastische Differentialgleichung eine Stratonovich-Gleichung ist. Da-  
10 durch wird es möglich, eine ggf. in Form einer (deterministischen) Differentialgleichung vorliegende Modellierung des Systems im Hinblick auf vorhandene Störungen derart anzupassen, daß ein Entwurf des Systems einschließlich Störung möglich  
ist.

15 Als eine Weiterbildung ist die Stratonovich-Gleichung derart bestimmt, daß deren Lösung in einem Definitionsbereich der Stratonovich-Gleichung (d.h. in einer gekrümmten Fläche, einer sogenannten 'Mannigfaltigkeit') verläuft.

20 Eine andere Weiterbildung besteht darin, daß die Stratonovich-Gleichung mittels eines Prädiktor-Korrektor-Verfahrens numerisch gelöst wird. Ein Prädiktor ist allgemein beschreibbar als eine Vorhersagegröße, die gegenüber der zu vorhersagenden Größe einen Fehler aufweist, welcher mittels des Korrektors weitgehend ausgeglichen wird.  
25

Insbesondere kann der Prädiktor anhand der Trapezregel bestimmt werden. Dabei ist die Trapezregel für Riemann-  
30 Integrale beispielsweise aus [4] bekannt. Die Trapezregel für Stratonovich-Integrale folgt aus der Definition des Stratonovich-Integrals selbst. So ist das Stratonovich-Integral als ein Grenzwert der Trapezsummen definiert, die Trapezregel ist damit ein Teil der Definition des Stratonovich-Integrals. Es  
35 wird mittels Trapezsummen eine implizite Gleichung für den Prädiktor aufgestellt, die anhand eines Newton-Verfahrens approximativ gelöst wird.

Eine Ausgestaltung besteht darin, daß zusätzlich eine Schrittweitensteuerung im Verlauf der numerischen Berechnung erfolgt. Dies geschieht insbesondere durch eine Schrittwei-

5      tenverkleinerung, falls ein zu großer Approximationsfehler vermutet wird (Wert für den vermuteten Approximationsfehler überschreitet eine vorgegebene Schranke), oder durch eine

10     Schrittweitenvergrößerung, falls ein (sehr) kleiner Approximationsfehler vermutet wird (Wert für den vermuteten Approximationsfehler liegt unterhalb einer vorgegebenen Schranke).

Eine andere Ausgestaltung besteht darin, daß die Stratonovich-Gleichung insbesondere die folgende Form aufweist:

$$15 \quad X_t = X_a - \int_a^t P(X_s) \cdot F(X_s) \cdot ds + Z \quad (1)$$

mit  $t \geq a$  und  $X_a = x_0$

wobei

20       $a$             einen Startzeitpunkt,  
         $x_0$         einen zulässigen Startparametervektor,  
         $X_t$         einen Lösungsparametervektor zum Zeitpunkt  $t$ ,  
         $P(X_s)$     eine Projektionsmatrix im Parametervektor  $X_s$ ,  
         $F(X_s)$     eine Driftrichtung im Parametervektor  $X_s$ ,  
         $Z$          eine Zufallsgröße

25     bezeichnen.

In einer zusätzliche Ausgestaltung ist die Zufallsgröße  $Z$  bestimmt durch

$$30 \quad Z = \varepsilon \cdot \int_a^t P(X_s) \circ dB_s \quad (3),$$

wobei

$\varepsilon$             einen Skalierungsfaktor und

$\{B_s: s \geq a\}$  eine n-dimensionale Brownsche Bewegung bezeichnen.

Liegt zusätzlich das technische System in Form von Gleichungen und Ungleichungen vor, die Punkte des technischen Systems eingrenzen, so wird insbesondere zunächst das technische System mittels Einführung von Schlupfvariablen so umformuliert, daß es eine Mannigfaltigkeit beschreibt. In der obigen Differentialgleichung (4) werden nur noch diejenigen Anteile der Integranden berücksichtigt, die tangential zur Mannigfaltigkeit verlaufen. Dies geschieht durch Multiplikation mit Projektionsmatrizen. Es ergibt sich die besondere stochastische Differentialgleichung nach Gleichung (1) (insbesondere in Zusammenschau mit den Gleichungen (2) und (3)), die vom Typ einer Stratonovich-Differentialgleichung ist.

Eine zusätzliche Weiterbildung besteht darin, daß eine das technische System beschreibende Ungleichung  $h_i(x) \leq 0$  mittels einer Schlupfvariable umgeformt wird zu einer Gleichung. Diese Umformung hat insbesondere die Form

$$\tilde{h}_i(x, s) = h_i(x) + g(s) \quad (5),$$

wobei

$g(s)$  eine Funktion mit einem Wertebereich aller reellen Zahlen größer gleich Null ( $\mathbb{R}_0^+$ ),  
 $s$  die Schlupfvariable und  
 $h_i(x)$  eine Nebenbedingung  $h_i(x) \leq 0$  bezeichnen.

30

Ferner kann die Funktion  $g(s)$  bestimmt sein zu:

$$g(s) = s^2 \quad (6).$$

35 Die Lösung der Gleichung (1) stellt einen stochastischen Prozeß

$$\{x_t: t \geq a\} \quad (7)$$

dar. Es wird eine Folge zulässiger Parametervektoren

5

$$x_{t_1}, x_{t_2}, x_{t_3}, \dots \quad (a < t_1 < t_2 < t_3 \dots) \quad (8)$$

berechnet, die in Näherung Punkte eines Pfades des stochastischen Prozesses gemäß Gleichung (7) zu den Zeitpunkten  $t_1, t_2, t_3, \dots$  darstellen. Ein Iterationsschritt kommt dabei auf die folgende Art zustande: Die Parametervektoren  $x_{t_1}, x_{t_2}, x_{t_3}, \dots, x_{t_i}$  seien bereits berechnet,  $x_{t_i}$  dient dann als Startpunkt für die Stratonovich-Gleichung (1), d.h.  $a := t_i$ . Ein Parametervektor  $x_{t_{i+1}}$  wird als numerische Approximation eines Punktes des Pfades der Lösung gemäß Gleichung (7), der bereits die Punkte  $x_{t_1}, x_{t_2}, x_{t_3}, \dots, x_{t_i}$  enthält, berechnet. Die Berechnung erfolgt zum Zeitpunkt  $t_{i+1}$ , d.h.  $t = t_{i+1}$ , die Schrittweite des Iterationsschritts ergibt sich zu  $t_{i+1} - t_i$ .

20

Die Approximation der Stratonovich-Gleichung (1) erfolgt für den  $(i+1)$ -ten Iterationsschritt nach der folgenden Vorschrift (mit Hilfe der Trapezregel):

$$\begin{aligned} x_{t_{i+1}} &\approx x_{t_i} \\ &- \frac{t_{i+1} - t_i}{2} \left( P(x_{t_i}) \cdot F(x_{t_i}) + P(x_{t_{i+1}}) \cdot F(x_{t_{i+1}}) \right) \\ &+ \frac{\varepsilon}{2} \left( P(x_{t_i}) + P(x_{t_{i+1}}) \right) \cdot (B_{t_{i+1}} - B_{t_i}) \end{aligned} \quad (9)$$

Gleichung (9) ist eine implizite Gleichung für die Zufallsvariable  $x_{t_{i+1}}$ . Mit Hilfe des Newton-Verfahrens kann daraus eine Approximation  $y_{t_{i+1}}$  für eine Realisierung der Zufallsvariablen  $x_{t_{i+1}}$  bestimmt werden.

30



Der Punkt  $y_{t_{i+1}}$  ist u.U. nicht zulässig. Anhand des Korrektors wird nun mit Hilfe eines Newtonverfahrens ein Punkt  $x_{t_{i+1}}$  in der Nähe des Punktes  $y_{t_{i+1}}$  ermittelt, welcher zulässig ist und als Startwert für einen nachfolgenden Iterationsschritt dient.

Eine andere Ausgestaltung besteht darin, daß der Entwurf ein Neuentwurf, eine Anpassung oder eine Steuerung des technischen Systems darstellt. Alternativ kann im Rahmen des Entwurfs eine Modellierung und/oder Simulation des technischen Systems erfolgen.

Ein technisches System kann eine Anlage der Verfahrenstechnik oder ein sonstiges System sein, das im Hinblick auf unterschiedliche Parameter auszulegen oder einzustellen ist. Insbesondere können die Parameter des Parametervektors Auslegungsparameter oder Betriebsparameter des technischen Systems sein. Betriebsparameter kennzeichnen mögliche einstellbare Größen, wohingegen Auslegungsparameter insbesondere physikalische Abmessungen des technischen Systems beschreiben und während des Betriebs zumeist nur mit hohem Aufwand angepaßt oder verändert werden können.

Wahlweise kann mit dem beschriebenen Verfahren ein Neuentwurf des technischen Systems oder eine Anpassung eines bereits existierenden technischen Systems erfolgen. In beiden Fällen handelt es sich um einen Entwurf (einmal als Neugenerierung und einmal als Anpassung) im Sinne der vorliegenden Ausführungen.

Im Rahmen einer weiteren Ausgestaltung wird das technische System anhand der ermittelten Parameter realisiert bzw. eingestellt. Hierbei ist es von Vorteil, daß die Parameter in einen Parametervektor, der mittels der Erfindung bestimmt wurde, einen stabilen Betriebspunkt kennzeichnen und die Einstellung des Systems auf diesen Betriebspunkt einen dauerhaft sicheren Betrieb des Systems/ der Anlage gewährleistet.

- Auch wird die Lösung anhand einer Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems gelöst, die eine Prozessoreinheit auf-
- 5 weist, die derart eingerichtet ist, daß
- a) das System in Form einer Beschreibungsform modelliert ist;
  - b) eine Störung des Systems anhand einer Zufallsgröße modellierbar ist;
  - 10 c) das System einschließlich der Störung als eine stochastische Differentialgleichung modellierbar ist;
  - d) die stochastische Differentialgleichung numerisch lösbar ist;
  - e) die numerische Lösung zum Entwurf des technischen Systems erfolgt.
- 15

Diese Anordnung ist insbesondere geeignet zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens oder einer seiner vorstehend erläuterten Weiterbildungen.

20

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung dargestellt und erläutert.

Es zeigen

25

Fig.1 einen Ablauf eines Verfahrens zum Entwurf eines technischen Systems;

Fig.2 eine Skizze, die eine numerische Lösung einer Stratonovich-Differentialgleichung veranschaulicht;

30

Fig.3 eine Skizze, die eine Projektionsmethode veranschaulicht;

35 Fig.4 eine Prozessoreinheit.

**Fig.1** zeigt ein Blockdiagramm, das den Ablauf eines Verfahrens zum Entwurf eines technischen Systems veranschaulicht. In einem Schritt 101 ist eine Beschreibungsform, bevorzugt als deterministische Differentialgleichung bzw. als deterministisches Differentialgleichungssystem, eines technischen Systems vorgegeben. In einem Schritt 102 wird eine Störung, die auf das technische System einwirkt, berücksichtigt, indem eine Stratonovich-Gleichung formuliert und in Schritt 103 gelöst wird. Die Lösung der Stratonovich-Gleichung führt gemäß Schritt 104 zu einem Simulationspunkt für eine dem technischen System zuzuordnenden Größe unter Berücksichtigung der Störung. Eine sich ggf. mit dem Simulationspunkt anschließende Optimierung führt zu einem Arbeitspunkt (insbesondere einem effizienten Arbeitspunkt), der z.B. für die Umsetzung des technischen Systems eingesetzt wird.

**Fig.2** veranschaulicht das Prädiktor-Korrektor-Verfahren. Ausgehend von einem Punkt  $x_{t_i}$ , der sich im zulässigen Wertebereich  $L$  befindet, wird ein Punkt  $y_{t_{i+1}}$  ermittelt (Anwendung des Newton-Verfahrens auf Gleichung (9)), der nicht mehr im zulässigen Bereich  $L$  liegt (Prädiktorschritt 201). Um den Punkt  $y_{t_{i+1}}$  wieder in den zulässigen Bereich zu überführen wird ein Korrektorschritt 202 bestimmt, der zu dem Punkt  $x_{t_{i+1}}$  führt.

Das Zusammenspiel von Prädiktor und Korrektor wird iterativ mit gleichbleibender, abnehmender oder zunehmender Schrittweite wiederholt. Hierbei sei bemerkt, daß die Linie 201 nicht notwendigerweise tangential verläuft.

**Fig.3** veranschaulicht die Projektionsmethode. Wiederum ist der zulässiger Bereich  $L$  angegeben, auf dem sich der Punkt  $x_{t_i}$  befindet. Die Linie 203 kennzeichnet eine Driftrichtung  $F(x_t)$ , eine Linie 204 deutet eine projizierte Driftrichtung  $P(x_t) \cdot F(x_t)$  an.

In **Fig.4** ist eine Prozessoreinheit PRZE dargestellt. Die Prozessoreinheit PRZE umfaßt einen Prozessor CPU, einen Speicher

SPE und eine Input/Output-Schnittstelle IOS, die über ein Interface IFC auf unterschiedliche Art und Weise genutzt wird: Über eine Grafikschnittstelle wird eine Ausgabe auf einem Monitor MON sichtbar und/oder auf einem Drucker PRT ausgegeben.

5 Eine Eingabe erfolgt über eine Maus MAS oder eine Tastatur TAST. Auch verfügt die Prozessoreinheit PRZE über einen Datenbus BUS, der die Verbindung von einem Speicher MEM, dem Prozessor CPU und der Input/Output-Schnittstelle IOS gewährleistet. Weiterhin sind an den Datenbus BUS zusätzliche Kom-

10 ponenten anschließbar, z.B. zusätzlicher Speicher, Datenspeicher (Festplatte) oder Scanner.

## Literaturverzeichnis:

- [1] K. D. Elworthy: "Stochastic Differential Equations on Manifolds", Cambridge University Press, Cambridge 1982, pp.253-254.
- 5 [2] D. G. Luenberger: "Linear and Nonlinear Programming", Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, pp.334-337.
- [3] P. Protter: "Stochastic Integration and Differential Equations - A New Approach", Springer Verlag, New York, pp.215-235.
- 10 [4] J. Stoer: "Numerische Mathematik 1", Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1994, pp.138-144.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Entwurf eines technischen Systems,
  - a) bei dem das System in Form einer Beschreibungsform mo-  
5       delliert ist;
  - b) bei dem eine Störung des Systems anhand einer Zufalls-  
          größe modelliert wird;
  - c) bei dem das System einschließlich der Störung als eine  
          stochastische Differentialgleichung modelliert wird;
  - 10       d) bei dem die stochastische Differentialgleichung nume-  
          risch gelöst wird;
  - e) bei dem die numerische Lösung zum Entwurf des techni-  
          schen Systems eingesetzt wird.
- 15   2. Verfahren nach Anspruch 1,  
      bei dem die Beschreibungsform eine Differentialgleichung  
      ist.
- 20   3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
      bei dem anhand der Lösung der stochastischen Differenti-  
      algleichung mindestens ein effizienter Arbeitspunkt des  
      technischen Systems ermittelt wird.
- 25   4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
      bei dem die stochastische Differentialgleichung eine  
      Stratonovich-Gleichung ist.
- 30   5. Verfahren nach Anspruch 4,  
      bei dem die Stratonovich-Gleichung derart bestimmt wird,  
      daß deren Lösung in einem Definitionsbereich der Strato-  
      novich-Gleichung verläuft.
- 35   6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5,  
      bei dem die Stratonovich-Gleichung mittels eines Prädik-  
      tor-Korrektor-Verfahrens numerisch gelöst wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6,  
bei dem ein Prädiktor des Prädiktor-Korrektor-Verfahrens  
anhand der Trapezregel bestimmt wird.
- 5 8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7,  
bei dem ein Korrektor des Prädiktor-Korrektor-Verfahrens  
mittels Newton-Verfahren bestimmt wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
10 bei dem zusätzlich eine Schrittweitensteuerung erfolgt.
10. Verfahren nach Anspruch 9,  
bei dem die Schrittweitensteuerung derart erfolgt,  
a) daß eine Schrittweitenverkleinerung durchgeführt wird,  
15 falls ein hinreichend großer Approximationsfehler er-  
mittelt wird oder  
b) daß eine Schrittweitenvergrößerung durchgeführt wird,  
falls ein hinreichend kleiner Approximationsfehler er-  
mittelt wird.
- 20 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 9,  
bei dem die Stratonovich-Gleichung die folgende Form auf-  
weist:

$$25 \quad X_t = X_a - \int_a^t P(X_s) \cdot F(X_s) \cdot ds + Z \quad \text{mit } t \geq a \text{ und } X_a = x_0$$

wobei

- a            einen Startzeitpunkt ( $a \geq 0$ ),  
 $x_0$         einen zulässigen Startparametervektor,  
 30  $X_t$         einen Lösungsparametervektor zum Zeitpunkt  $t$ ,  
 $P(X_s)$     eine Projektionsmatrix im Parametervektor  $X_s$ ,  
 $F(X_s)$     eine Driftrichtung,  
 $Z$         eine Zufallsgröße  
 bezeichnen.

12. Verfahren nach Anspruch 11,  
bei dem die Zufallsgröße bestimmt ist durch

$$Z = \varepsilon \cdot \int_a^t P(X_S) \circ dB_S$$

5

wobei

$\varepsilon$  einen Skalierungsfaktor und  
 $\{B_S: s \geq a\}$  eine n-dimensionale Brownsche Bewegung  
bezeichnen.

10

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei dem eine Nebenbedingung, die in Form einer Unglei-  
chung vorliegt, mittels einer Schlupfvariable  $s$  in eine  
Gleichung umgeformt wird.

15

14. Verfahren nach Anspruch 13,  
bei dem die Nebenbedingung  $h_i(x)$ , die in Form der Unglei-  
chung  $h_i(x) \leq 0$  vorliegt, formuliert wird zu

20  $\tilde{h}_i(x, s) = h_i(x) + g(s),$

wobei

$g(s)$  eine Funktion mit einem Wertebereich aller reel-  
len Zahlen größer gleich Null,

25

$s$  die Schlupfvariable und  
 $h_i(x)$  eine Nebenbedingung  $h_i(x) \leq 0$   
bezeichnen.

15. Verfahren nach Anspruch 14,

30 bei dem die Funktion  $g(s)$  bestimmt ist zu

$$g(s) = s^2.$$



16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei dem der Entwurf ein Neuentwurf, eine Anpassung oder  
eine Steuerung des technischen Systems darstellt.

5

17. Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems  
mit einer Prozessoreinheit, die derart eingerichtet ist,  
daß

- 10 f) das System in Form einer Beschreibungsform modelliert  
ist;
- g) eine Störung des Systems anhand einer Zufallsgröße mo-  
dellierbar ist;
- h) das System einschließlich der Störung als eine stocha-  
stische Differentialgleichung modellierbar ist;
- 15 i) die stochastische Differentialgleichung numerisch lös-  
bar ist;
- j) die numerische Lösung zum Entwurf des technischen Sy-  
stems erfolgt.

1/2

FIG 1

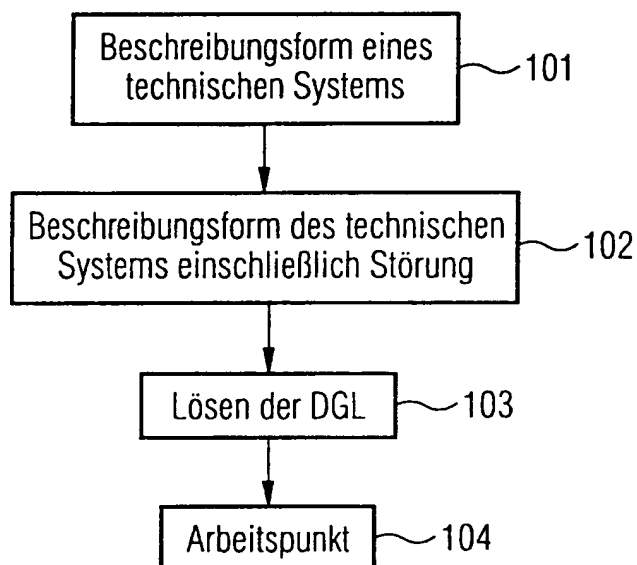
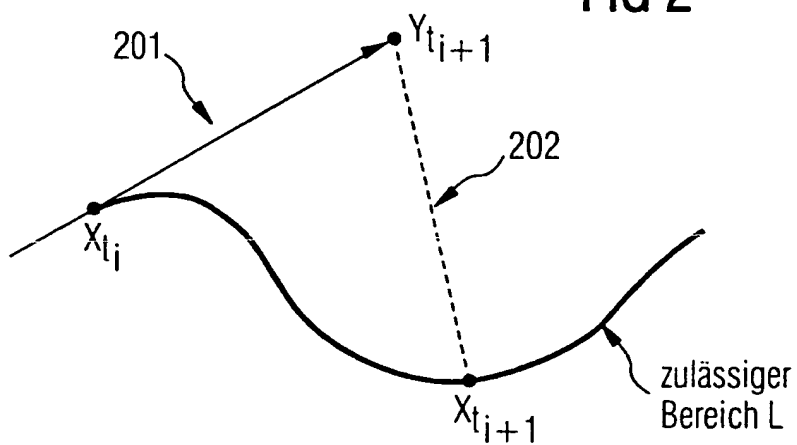


FIG 2



2/2

FIG 3

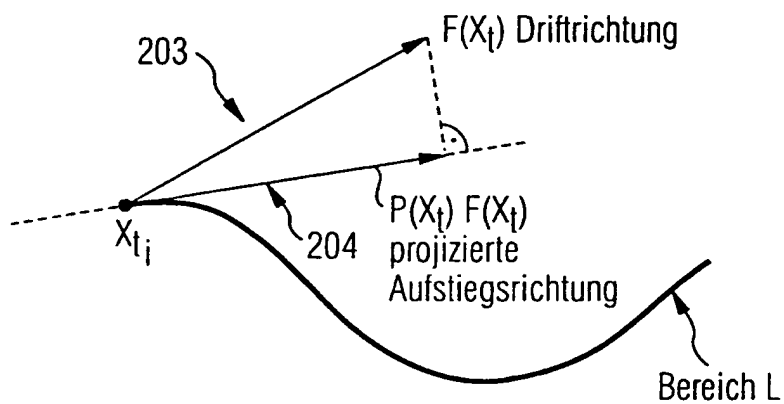
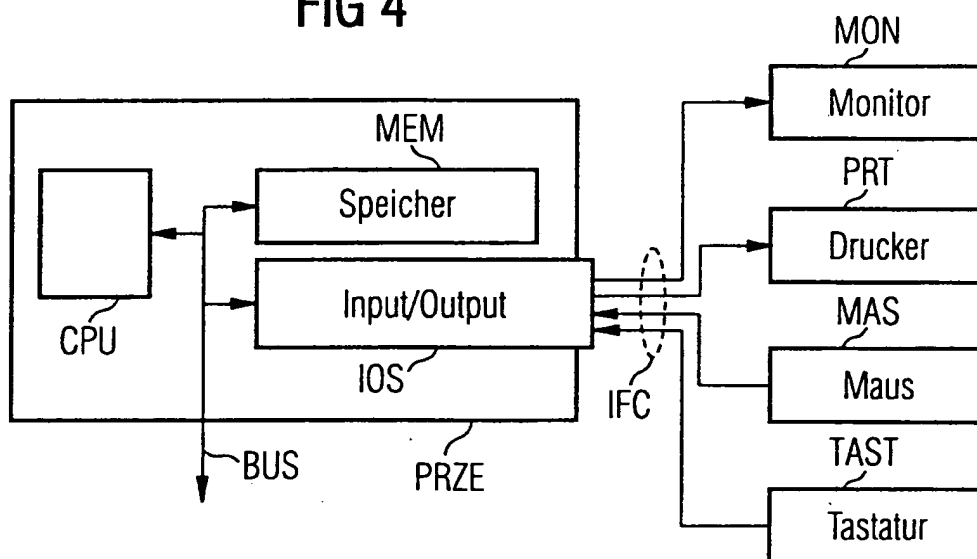


FIG 4



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No  
PCT/DE 00/01036

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 7 G05B17/02		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G05B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	G.KALLIANPUR ET AL: "A STOCHASTIC DIFFERENTIAL EQUATION OF FISK TYPE FOR ESTIMATION AND NONLINEAR FILTERING PROBLEMS" SIAM JOURNAL OF APPLIED MATHEMATICS, vol. 21, no. 1, July 1971 (1971-07), pages 61-72, XP000900651 USA page 61, line 1 -page 66, line 26 ---	1,17
A	S.MARCUS: "MODELING AND APPROXIMATION OF STOCHASTIC DIFFERENTIAL EQUATIONS DRIVEN BY SEMIMARTINGALES" STOCHASTICS, vol. 4, no. 3, 1981, pages 223-245, XP000900471 UK page 223, line 1 -page 228, line 17 --- -/--	1,17
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span><input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.</span> <span><input type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.</span> </div>		
<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>* Special categories of cited documents :</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p> </div> </div>		
Date of the actual completion of the international search  <div style="text-align: center;">5 September 2000</div>		Date of mailing of the international search report  <div style="text-align: center;">13/09/2000</div>
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  <div style="text-align: center;">Kelperis, K</div>

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 00/01036

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>T.MISAWA: "THE SIMILARITY METHOD IN STOCHASTIC DYNAMICAL SYSTEMS"  IMA JOURNAL OF APPLIED MATHEMATICS,  vol. 59, no. 3, December 1997 (1997-12),  pages 261-272, XP000900649  UK  page 261, line 1 -page 267, line 8  -----</p>	1,17

# INTERNATIONAL RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/DE 00/01036

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G05B17/02

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 G05B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	G.KALLIANPUR ET AL: "A STOCHASTIC DIFFERENTIAL EQUATION OF FISK TYPE FOR ESTIMATION AND NONLINEAR FILTERING PROBLEMS" SIAM JOURNAL OF APPLIED MATHEMATICS, Bd. 21, Nr. 1, Juli 1971 (1971-07), Seiten 61-72, XP000900651 USA Seite 61, Zeile 1 -Seite 66, Zeile 26	1,17
A	S.MARCUS: "MODELING AND APPROXIMATION OF STOCHASTIC DIFFERENTIAL EQUATIONS DRIVEN BY SEMIMARTINGALES" STOCHASTICS, Bd. 4, Nr. 3, 1981, Seiten 223-245, XP000900471 UK Seite 223, Zeile 1 -Seite 228, Zeile 17	1,17
-/-		

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☐ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. September 2000

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

13/09/2000

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kelperis, K

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 00/01036

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>T.MISAWA: "THE SIMILARITY METHOD IN STOCHASTIC DYNAMICAL SYSTEMS"</p> <p>IMA JOURNAL OF APPLIED MATHEMATICS,</p> <p>Bd. 59, Nr. 3, Dezember 1997 (1997-12),</p> <p>Seiten 261-272, XP000900649</p> <p>UK</p> <p>Seite 261, Zeile 1 -Seite 267, Zeile 8</p> <p>-----</p>	1,17

This Page Blank (uspto)